

dc_194_11

Mészkö műemlékek kőanyagának mállása

című

MTA doktori értekezés
Tézisei

Török Ákos

2011
Budapest

I. BEVEZETÉS

Az értekezés a hazánkban legelterjedtebb műemléki kőzetek, a mészkövek környezeti hatásokra bekövetkező elváltozásait, károsodási jelenségeit mutatja be. E folyamatok pontosabb megismerésére olyan helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok készültek, amelyeket hazánkban korábban még nem használtak. A téma jelentőségét az adja, hogy az ismert és felhasznált kőzetváltozatok közül a mészkő a leggyakoribb, amit az is igazol, hogy építő- és díszítőkö, valamint művészeti alkotás formájában is megtaláljuk világszerte. Nálunk a római kortól kedvelt kőzet, később például a középkori jáki és zsámbéki templomok anyaga is mészkő. Budapest fejlődésében is kiemelt fontosságú a mészkő, amit Aquincum területén feltárt édesvízi mészkőből álló vízvezetékek, az amfiteátrum, valamint a középkori, durva mészkőből álló szoborleletek is jeleznek. A főváros robbanásszerű fejlődése összefügg a porózus mészkő (durva mészkő) felhasználásának növekedésével, hiszen ebből épültek a XIX. század második felében és a XX. század elején a főváros leghíresebb épületegyüttesei, beleértve az Országházat, a Bazilikát, a Citadellát és az Operaházat.

A beépített kőzetek tönkremeneteli módja igen változatos és sokrétű folyamat eredménye, amelyet korán felismertek, hiszen már Horatius írta, hogy a füst tönkreteszi a római templomokat. Az évezreddel később Nyugat-Európában megkezdett korszerű kutatásokat (Schaffer 1932) követően hazánkban is készültek tanulmányok (Vendl 1943, Lácza 1944, Kertész 1987, 1988). Nemzetközileg legtöbbet a kőzetek mállásával és a tönkrement kőfelületek konzerválásával (Amoroso és Fassina 1983), valamint a légszennyezés kőzetekre gyakorolt hatásával foglalkoztak (Rodriguez-Navarro és Sebastian 1996, Moropoulou et al. 1998, Sabbioni 2003, Bonazza et al. 2004). Leginkább ez utóbbi témakörhöz kapcsolható a jelen disszertáció. Az elvégzett vizsgálataim fő célja a kőzetpusztuláshoz vezető folyamatok pontosabb megértése volt.

A kutatás során a különböző fizikai tulajdonságokkal rendelkező mészkövek károsodását tanulmányoztam olyan hazai középületeken és műemléképületeken, amelyek nagyrészt szennyezett levegőjű városi területeken találhatóak. A mállásra legérzékenyebb hazai mészkőfajták a mérnökgeológiában „durva mészkő” néven ismert porózus mészkövek, amelyek uralkodóan a miocén korban keletkeztek. Összehasonlításképpen más mészkőtípusok, így az édesvízi mészkő és a mérnöki gyakorlatban tömött mészkőként ismert, erősen cementált tengeri eredetű mészkövek viselkedését is vizsgáltam. A hazai minták mellett lehetőségem nyílt németországi helyszínekről származó kőzet-, mállási kéreg- és üledő

porminták elemzésére is. Ez azért volt különösen fontos, mert így nemzetközi összehasonlításban is értékelhető adatokat sikerült kapni az eltérő légszennyezettségű (városi, ipari és vidéki) területekről származó mészkő anyagú épületek tönkremeneteli folyamatairól.

Az itt bemutatott kutatási eredmények a gyakorlati életben elsősorban a műemlékvédelemben és a műtárgyvédelemben hasznosíthatók: a mészkőből épült műemléképületek, szobrok és faragványok kőkonzerválási eljárásainak kiválasztásához és megfelelő alkalmazásához nyújtanak támpontot. Az új eredmények reményeim szerint közvetlenül alkalmazhatók a mérnöki létesítmények tervezésénél, a városi környezetet jobban elviselő kőzetanyag és restauráló anyag kiválasztásánál is.

II. CÉLKITŰZÉSEK ÉS KUTATÁSI MÓDSZEREK

A szakirodalom áttekintése alapján a mészkövek mállásával kapcsolatban számos, eddig megválaszolatlan kérdést azonosítottam. Ezek közül a jelen mű az alábbi főbb témakörök pontosabb megismerését tűzte ki célul:

- néhány hazai mészkőből épült műemlék mállási jelenségeinek morfológiai leírása;
- a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazhatósága a műemlékek állapotának megítélésben;
- a légszennyeződés hatása a mészkövekből álló műemlékekre, különös tekintettel a hazai viszonyokra;
- a városi és a vidéki területeken a különféle hatásoknak kitett épületek károsodása közötti különbségek kimutatása;
- az üledő por szerepe a kőanyag mállásában;
- a műemléki kőzetanyag állapotának jellemzésére használható módszerek és ezek alkalmazásának lehetőségei, korlátai;
- a bányából származó kőzetminták laboratóriumi elemzésének eredményei milyen mértékben hasznosíthatók a műemlékekben található hasonló kőzetváltozatok állapotának megítélésében.

A hazai vizsgált műemlékek három településen, Budapesten, Székesfehérváron és Biatorbágyon találhatók. Az épületek kőanyaga, szűkebb környezetük, klimatikus hatások szempontjából vizsgált elhelyezkedésük és a területek légszennyezettsége is eltérő. A budapesti műemlékek közül a legismertebbek az Országház, a Citadella, a Mátyás-templom és a Bazilika. Összehasonlításként németországi települések mészkő műemlékeiről származó fekete mállási

kérgeket és a kőzetfelületre már leülepedett pormintákat is elemeztem. A vizsgált épületek közül kiemelkedő jelentőségű a Világörökség részét képező kölni dóm, valamint a naumburgi templom.

A nemzetközi tapasztalatokat és korábbi osztályozásokat figyelembe véve morfológiai alapon jellemeztem a hazai mészkő műemlékeken kialakult mállási formákat, amelyhez kiindulási alapul a mállási típusok Smith et al. (1992), Fitzner et al. (1995) és az ICOMOS (2008) szerinti leírása szolgált. Külföldi és hazai kollégák közreműködésével helyszíni vizsgálatokkal (Schmidt kalapács, Duroskop, illetve mikrofúrasi ellenállás) határoztuk meg a kőzetelemek mechanikai jellemzőit, valamint hőmérsékletét és vízfelvételi tulajdonságait. Ezen értékeket összevettem a bányából származó mészkövek adataival, amelyeket kőzettömbökből kialakított próbatesteken készült szabványos kőzetfizikai vizsgálatokból nyertem. Ez lehetővé tette a műemlékekben előforduló mállott és „bánya friss” kőzetek fizikai tulajdonságainak összehasonlítását.

A műemléki helyszínekről begyűjtött kisméretű minták ásványtani összetételét röntgen diffrakció és termoanalitikai módszerek segítségével, geokémiai összetételét pedig röntgenfluoreszcens spektroszkópiás és ion kromatográfiás elemzésekkel, ill. szén/kén arány meghatározásával vizsgáltam. A szöveti jeleget vékonycsiszolatok, a mikromorfológiai jellemzőket és az elemi összetételt pedig pásztázó elektronmikroszkóp, mikroszonda, lézer ablációs induktív csatolású plazma emissziós tömegspektrométer segítségével határoztam meg. Egyes minták stabil kénizotóp arányait, valamint policiklikus aromás szénhidrogén tartalmát is meghatároztuk hazai és külföldi laborok és szakemberek közreműködésével.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az új tudományos eredményeket négy fő témakörbe lehet besorolni:

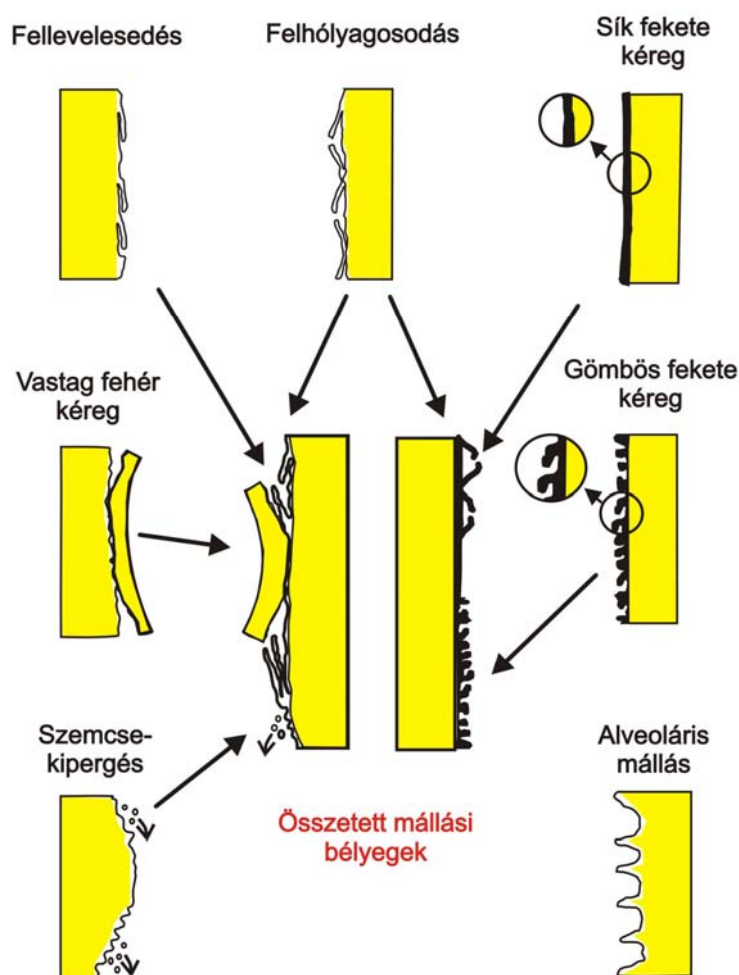
- A) a mállás hatására a mészkő épületeken bekövetkező elváltozások morfológiai osztályozása, gyakoriságuk;
- B) a mészkő műemlékek kőanyaga fizikai tulajdonságainak változása a mállás hatására és a mállási kéreg leválási mechanizmusa;
- C) a mállás hatására bekövetkező ásványtani és geokémiai változások;
- D) a kőfelületre ülepedő por szerepe a mészkövön található fekete mállási kérgek kialakulásában.

A.) A mállás hatására a mészkő épületeken bekövetkező elváltozások osztályozása, gyakoriságuk

A.1. A durva mészkő műemlékek mállási jelenségei

A nemzetközileg elfogadott nomenklatúrát hazánkban is bevezetve, morfológiai alapon osztályoztam a durva mészkő felületeken kialakuló mállási formákat (1. ábra). A világos kéreg közül megkülönböztettem a korábban még nem azonosított *vékony fehér kéreg* és a *vastag fehér kéreg*, amelyek nemcsak megjelenésükben, de fizikai tulajdonságaikban is eltérnek egymástól.

Az eredményt ismertető publikációk: Török 1997, 2002a, 2003a, 2003b, 2007a.



1. ábra. A porózus (más néven durva) mészkövön kialakuló leggyakoribb mállási formák és ezek kombinációjával létrejött összetett mállási formák

A.2. Az édesvízi mészkő műemlékek mállási jelenségei

Megállapítottam, hogy az édesvízi mészkövön a fehér mállási kéreg nem alakul ki, és hogy a fekete mállási kéreg a durva mészkőhöz hasonló morfológiai változatokban jelennek meg. A durva mészkőnél nem jelentkező mállási formák közül a *felület kifakulását* és a *mikrokarsztos* jelenségeket lehetett azonosítani.

Az eredményt ismertető publikációk: *Török 2004a, 2005a, 2005b, 2006b, 2008a.*

A.3. A kitettség befolyásolja a mállási formák gyakoriságát

Az eltérő kitettségű falak mállási jelenségeit összevetve mérhető volt, hogy a kitettségtől függően a fehér és a fekete mállási kéreg aránya eltérő. Német kollegákkal közösen a Citadella vizsgálatával azt is számszerűsíteni lehetett, hogy a közvetlenül ráhulló csapadéknak kitett északi tájolású falak kisebb mértékű mállást mutatnak, mint a csapóesővel nem áztatott, délies fekvésű falak. Ennek oka a csapadék gipszet/kalcitot kioldó hatása mellett, a mérsékeltebb hőingadozás és a kevesebb fagyási/olvadási ciklus.

Az eredményt ismertető publikációk: *Török 2002b, Török 2003b, 2005b, 2007a, Török et al. 2004, 2005a.*

A.4. A kőfelület talajhoz viszonyított magassága a mállás intenzitását porózus mészkövek esetében mérhetően befolyásolja

A legtöbb térképezett falszakaszon, de különösen a délies fekvésű falakon az alsó kőzetsorok nagyobb mértékű mállást mutatnak, mint a magasabban fekvők. Az alsó kőzetsorokban a felületvesztéssel és ennek megfelelően jelentős mértékű kőzetszűrléssel járó mállás jóval gyakoribb, az ép (nem levált) mállási kéreg aránya kisebb. Ez a falfelületen belüli mikroklimatikus tényezők különbségére és a kőzet nagy vízfelszívó képességére utal.

Az eredményt ismertető publikációk: *Török 2002b, Török et al. 2004, Hüpers et al. 2005.*

B.) A mészkő műemlékek kőanyaga fizikai tulajdonságainak változása mállás hatására és a mállási kéreg leválási mechanizmusa

B.1. Mállás hatására kialakuló kéreg és az alatta található alapkőzet felületi szilárdsága jelentősen eltérhet

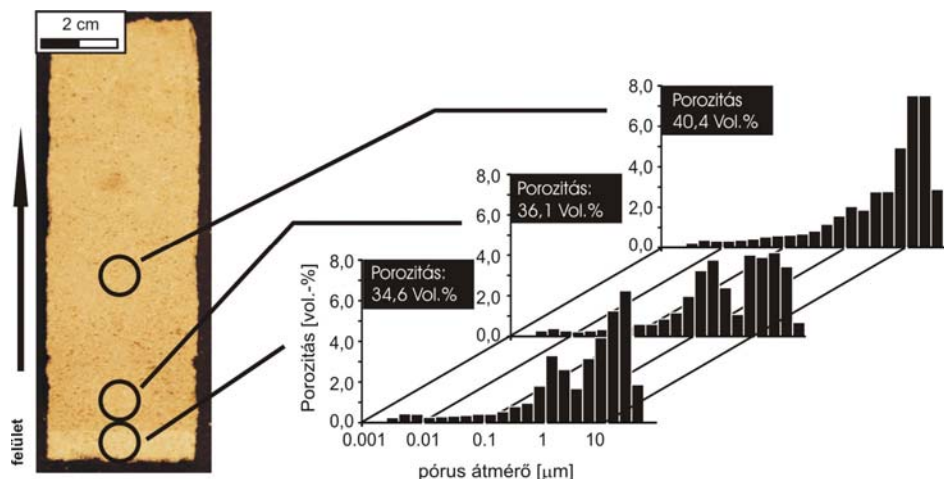
A fehér mállási kéreggel bevont durva mészköveknél a kéreg Schmidt kalapács és Duroskop visszapattanási értékei az alatta található alapkőzethez képest sok esetben magasabb értéket mutatnak. A fekete mállási kéreg esetében ennyire nagy eltérést nem lehetett kimutatni, de a durva mészkövön kialakult fekete mállási kéreg általában nagyobb visszapattanási értéket mutattak, mint a mállott alapkőzet. A bányából származó, még be nem épített kőzethez képest általában visszapattanási érték csökkenése mutatható ki. A Duroskoppal és a Schmidt kalapáccsal a mészkő mállási állapota a legtöbb esetben jól nyomonkövethető.

Az eredményt ismertető publikációk: *Török 2002a, 2003a, 2003b, 2006a, 2007a, 2008b, 2010, Török et al. 2004b.*

B.2. A mállás hatására a porózus mészkövek felületén olyan kéregzóna alakulhat ki, amely kisebb porozitású és kevésbé vízáteresztő, mint az alapkőzet

A durva mészköveken a mállás hatására porozitás átrendeződés figyelhető meg, a kialakuló mállási kéreg porozitása csökken, míg az alapkőzet porozitása a kéreghez képest nő (2. ábra), amit a vízfelvételi adatok is igazolnak. A póruseloszlás is megváltozik, a változás eltérő mértékű az egyes durva mészkő-változatoknál. A kéreg porozitás-csökkenése a másodlagosan kialakuló póruskitöltő kalcitnak és gipsznek tulajdonítható. A kéregzóna cementációját a nagyobb mikrofúrási ellenállás és megváltozott ultrahang-terjedési sebesség is igazolja. A durva mészkövön kialakuló fehér mállási kéreg vízáteresztő képessége és porozitása is általában kisebb, mint az ugyanazon kőzetváltozaton található fekete mállási kéregké.

Az eredményt ismertető publikációk: *Török 2002a, 2003a, 2010, Török et al. 2004, 2005a, 2007.*



2. ábra. A mállási kéreg és az alatta található alapkőzet porozitása és póruseloszlása egy finomszemű porózus mészkőváltozatnál

B.3. A mállási kéreg leválásában a kéreg és az alapkőzet eltérő fizikai tulajdonsága és szövete játszik szerepet

A durva mészkőekre jellemző mechanikai mállási forma a kéregleválás. A kőzetben a mállás hatására keletkező gipsz kristálynövekedése során fellépő feszültség többszörösen meghaladja a kőzet nyomó- és húzószilárdságát, így ez a folyamat a pórusok szétfeszítését eredményezi. A kéreg leválása a mikrorepedések kialakulásával kezdődik, amelyek később felnyílnak, és végül a kéreg leválásához vezetnek. A kéregleválás fizikai folyamatát három fő tényező befolyásolja: a gipszkristályosodás, a jégkristályosodás és a hőtágulás, hőingadozás. A repedések tágításában mindháromnak szerepe van, azonban az egyes hatások szétválasztása jelenleg még nem lehetséges. Az édesvízi mészkőön kialakult mállási kéreg kevésbé hajlamosak a leválásra. Ennek oka egyrészt az, hogy a kéreg alatt az édesvízi mészkőben nem található egy porózus, fellazult zóna, másrészt az édesvízi mészkő nagyobb szilárdsági paraméterekkel rendelkezik. A durva mészkő kőzetanyaga a kéreg leválásával rohamosabb pusztulásnak indul, mint az édesvízi mészkőé.

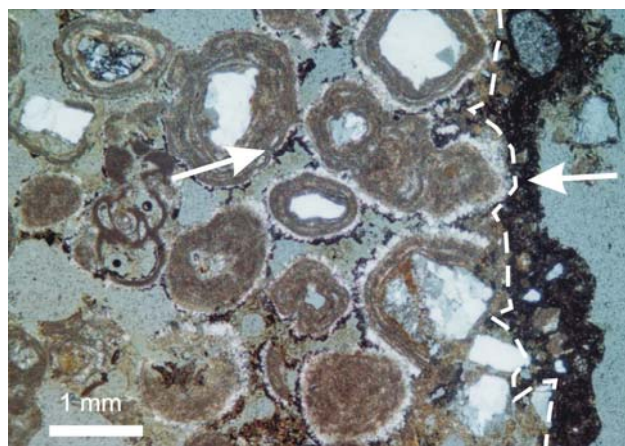
Az eredményt ismertető publikációk: Török 2002a, 2003a, 2004a, Török et al. 2004, 2007.

C.) A mállás hatására bekövetkező ásványtani és geokémiai változások

C.1. A gipsz, a légszennyezés legjobb indikátor ásványa, eltérő mértékben található a különböző morfológiájú mállási kéregekben

A szennyezett levegőjű városi környezetben és a vidéki mészkő műemlékek felületéről származó mállási kéregekben a gipsz mindenhol kimutatható volt. A gipsz eltérő mértékben dúsul fel a különböző színű és morfológiájú mállási kéregekben. Legnagyobb mennyiségű gipszet a gömbös fekete mállási kéregben lehetett kimutatni. A gipsz aránya közel azonos volt a durva mészkövön és az édesvízi mészkövön kialakuló gömbös fekete kéregben. A kizárólag a durva mészkövön megjelenő fehér mállási kéreg is jelentős mennyiségben tartalmaznak gipszet, amely a kéreg alján dúsul, míg a fekete mállási kéregben ez az ásványfázis a kéregfelületen található nagyobb mennyiségben. A kéreg alatti porózus alapkőzetben is kimutatható a gipsz (3. ábra).

Az eredményt ismertető publikációk: Török 2002a, 2003a, Török et al. 2004, Török és Rozgonyi 2004, Hüppers et al. 2005.

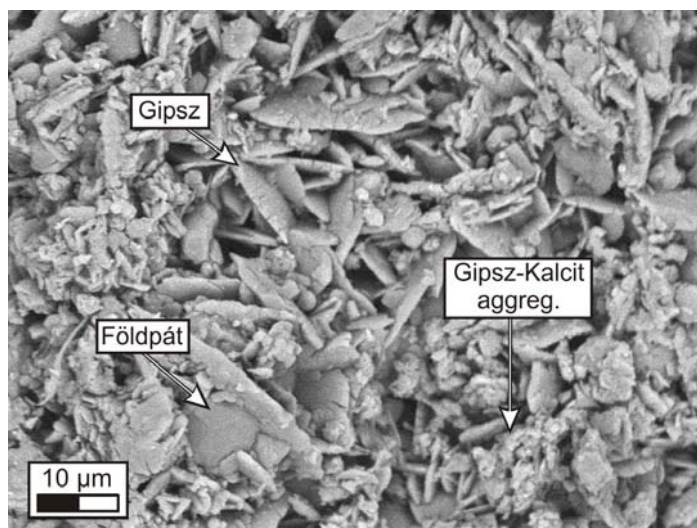


3. ábra. Gipszdús fekete mállási kéreg (nyíllal jelölt fekete zóna a kép jobb oldalán) és tűs gipsz kristályok a pórusokban, a kéreg alatt (nyíl). A szaggatott vonal a mállási kéreg és a kőzet határát jelzi (Citadella, durva mészkő, vékonycsiszolati kép)

C.2. A gipsz és a kalcit eltérő morfológiájú kristályokat alkot a mállási kéreg felületén és a kéreg alján

Minden mészkőváltozatnál a gipsz a fekete mállási kéreg felületén rozetta formájú kristályokat képez (4. ábra), míg a mállási kéreg alsó részén inkább tömeges megjelenésű, vagy pórusokban megjelenő rostos-tűs kristályokat formál. A durva mészkövön kialakuló fehér mállási kéregnél a kéregfelületen visszaoldott kristályformák (uralkodóan kalcit) láthatók, míg a kéreg alján változó méretű, sok esetben póruskitöltő gipszkristályok figyelhetők meg.

Az eredményt ismertető publikációk: Török 1997, 2002a, 2003a, 2003b, 2007a, Török és Rozgonyi 2004, Siegesmund et al. 2007, Török et al. 2011.



4. ábra. Gömbös fekete kéreg felületén rozetta formájú gipsz kristálycsoportok köztük egy-egy egyéb ásványszemcse (itt földpát) és gipsz-kalcit alkotta kisebb kristályaggregátumok (pásztázó elektronmikroszkópos felvétel)

D.) A kőfelületre ülepedő por szerepe a mészkövön található fekete mállási kérgék kialakulásában

D.1. A kőfelületen található ülepedő por ásványai és a fekete mállási kérgék képződésének összefüggése

Külföldi társszerzőkkel közösen igazoltam, hogy a mészkő műemlékeken található porban, a nagy mennyiségben jelen lévő kőzetliszt méretű kvarcsemcse mellett, gipsz- és kalcitkristályokból álló kristály aggregátumok is megjelennek. Ez azt jelezheti, hogy a gipszképződés viszonylag gyors folyamat. Ezeken felül szilícium- és vasdús szálló pernye, valamint koromrészecskék is megtalálhatók, amelyekhez hasonló a fekete mállási kérgék felületére tapadva is megfigyelhetők. A port alkotó ásványszemcsék felületén is üde gipszkristályok láthatók, amelyek a pornak a gipszképződésben betöltött katalitikus szerepét jelzik.

Az eredményt ismertető publikációk: *Török 2002a, 2005b, 2007a, 2008a, Smith et al. 2003, McAlister et al. 2006, 2008, Siegesmund et al. 2007, Török et al. 2007, 2011.*

D.2. Az ülepedő por és a fekete mállási kérgék ólomtartalmának összefüggése

A hazai és a németországi épületekről gyűjtött leülepedett porban nagyon magas ólomkoncentrációt lehetett kimutatni. Az ólom a fekete mállási kérgékben is felhalmozódott, elsősorban a mállási kérgék és alapkőzet határán dúsul. A mérési adatsorok azt is jelzik, hogy az ülepedő por megőrzi a lerakódáskori ólomtartalma nagy részét, de az ólom viszonylag jó oldhatósága miatt a kérgékbe és az alapkőzetbe vándorol. A szennyezett levegőjű városi területek mellett a vidéki háttér-területek mintáiban is, bár kisebb koncentrációban, de megjelenik az ólom.

Az eredményt ismertető publikáció: *Török et al. 2011.*

D.3. Az antropogén eredetű policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) a mészkövek mállási kéregében is kimutathatók

Labormérésekkel igazoltuk, hogy a mészkő műemlékekre ülepedő porban és magában a fekete mállási kéregben is kimutathatók a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH). A kéreghez képest az ülepedő porban egy nagyságrenddel nagyobb PAH koncentráció mérhető, míg az alapkőzetben már sokkal kisebb mértékben, de még mindig kimutatható a jelenléte. A mállási kéreg minták PAH-tartalma tükrözi a levegő környezetterhelését, mert a városi mintákban magas, a vidéki mintákban pedig alacsony PAH koncentrációt lehetett mérni. Németország és Magyarország vizsgált azonos típusú mintáiban nem mutatkozott jelentős különbség a PAH koncentrációk között.

Az eredményt ismertető publikáció: *Török et al. 2011.*

HIVATKOZOTT IRODALOM

- Amoroso, G.G., Fassina, V. 1983. *Stone Decay and Conservation*. Elsevier, Amsterdam, 1-453.
- Antill, S.J., Viles, H.A., 1999. Deciphering the Impacts of Traffic on Stone Decay in Oxford: Some Preliminary Observations from Old Limestone Walls. In: Jones, M.S. , Wakefield, R.D. (eds) *Aspects of Stone weathering, Decay and Conservation*. Imperial College Press, London, 28-42.
- Ausset, P., Del Monte, M. & Lèfevre, R.A. 1999. Embryonic sulphated black crusts on carbonate rocks in atmospheric simulation chamber and in the field: role of carbonaceous fly-ash. *Atmospheric Environment*, 33, 1525-1534.
- Bonazza, A., Sabbioni, C., Ghedini, N., Favoni, O., Zappia, G. 2004. Carbon data in black crusts on European monu-ments. In: C. Saiz-Jimenez (ed.) *Air pollution and Cultural Heritage*, 39-47. London, Taylor & Francis Group.
- Fitzner, B., Heinrichs, K., Kownatzki, R. 1995. Weathering forms-classification and mapping. In: *Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung* I. Ernst and Sohn, Berlin, pp 41-88
- Gálos M. 2003. Kőzetcsilárdtsági tulajdonságok meghatározása roncsolásmentes vizsgálati módszerrel. *Építőanyagok*, 55, 2, 55-57.
- Grossi, G.M., Esbert, R.M., Díaz-Pache, F., Alonso, F.J., 2003. Soiling of building stones in urban environments. *Building and Environment* 38, 147-159.
- ICOMOS 2008. *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*. Vergès-Belmin, V. (ed) ICOMOS-International Scientific Committee on Stone, Atelier 30 Impressions, Champigny/Marne, 79p.
- Kertész P. 1987. A kölni dóm építőkövei – mállási jelenségek és okok. *Építőanyag*, 39, 244-253.
- Kertész P. 1988. Decay and conservation of Hungarian building stones. In: Marinos, P.G., Koukis, G. C., (eds.) *The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments, and Historical Sites*, Proc. of International Symposium of IAEG, Athens, Balkema, Rotterdam, II., 755-761.

- Kieslinger, A. 1949. *Die Steine von Sankt Stephan*. Verlag Herold, Wien, 486 p.
- Kleb B. 1971. Kőzetminősítés Schmidt kalapáccsal építésföldtani térképezés keretében. *Földtani Közöny*, 101, 1, 55-61.
- Láczay O. 1944. *A természetes építőkövek elmállása és a mállás elleni védelem*. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 72 p.
- Moropoulou, A., Bisbikou, K., Torfs, K., Van Grieken, R., Zezza, F., Macri, F. 1998. Origin and growth of weathering crusts on ancient marbles in industrial atmosphere. *Atmospheric Environment*, 32, 967-982.
- Rodriguez-Navarro, C. & Sebastian, E. 1996. Role of particulate matter from vehicle exhaust on porous building stones (limestone) sulfation. *The Science of the Total Environment*, 187, 79-91.
- Sabbioni, C. 2003. Mechanism of Air Pollution Damage to Stone. In: Brimblecombe, P. (ed) *The Effects of Air Pollution on the Built Environment*. Air Pollution Reviews 2, Imperial College Press, London, 63-106.
- Schaffer, R.J. 1932. *The weathering of natural building stones*. His Majesty's Stationary Office, London, 149p.
- Smith, B.J., Whalley, W.B., Magee, R. 1992. Assessment of building stone decay: a geomorphological approach. In: Webster, R. G. M. (ed.) *Stone cleaning and the nature and decay mechanism of stone*. Proceedings of the International Conference, Edinburgh, UK, Donhead, London, 249-257.
- Vendl A. 1943. A kőzetek pusztulása és megvédése. *Természettudományi Közöny*. 1, 1-10.

A TÉZISEKBEN SZEREPLŐ PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Könyvrész, könyv fejezet

- Török Á. 2004a. Comparison of the Processes of Decay of Two Limestones in a Polluted Urban Environment. Chapter 6. In: Mitchell, D.J., Searle, D.E. (eds) ***Stone Deterioration in Polluted Urban Environments***. Science Publishers Inc., Enfield, USA, 73-92.
- Török Á. 2006a. Influence of Fabric on the Physical Properties of Limestones. Chapter 8.1. In: Kourkoulis S. K. (ed.) ***Fracture and failure of natural building stones***., Springer, Dordrecht, 487-495.
- Török Á. 2010. In Situ Methods of Testing Stone Monuments and the Application of Nondestructive Physical Properties Testing in Masonry Diagnosis. In: Bostenaru Dan M., Přikryl R., Török Á. (eds) ***Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures***. Springer, Dordrecht, 177-193.

Szerkesztett könyvben cikk

- Hüpers, A., Müller, C., Siegesmund, S., Hoppert, M., Weiss, T., Török Á. 2005. Kalksteinverwitterung – die Zitadella und das Parlaments - Gebäude in Budapest. In: Siegesmund, S., Auras, M., Snethlage R. (eds.) ***Stein Zerfall und Konservierung***. Edition Leipzig, Leipzig, 201-209.
- Török Á. 2002a. Oolitic limestone in polluted atmospheric environment in Budapest: weathering phenomena and alterations in physical properties. In: Siegesmund, S., Weiss,

T., S., Vollbrecht, A (eds) Natural Stones, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. **Geological Society, London, Special Publications**, 205, 363-379.

Török Á., Müller, C., Hüpers, A., Hoppert, M., Siegesmund, S., Weiss, T. 2007. Differences in texture, physical properties and microbiology of weathering crust and host rock: a case study of the porous limestone of Budapest (Hungary). Prykrl, R., Smith, J.B. (eds.) Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation, **Geological Society, London, Special Publications** 271, 261-276.

Külföldön megjelent idegen nyelvű lektorált cikk

McAlister, J.J., Smith, B.J., Török Á. 2006. Element partitioning and potential mobility within surface dusts on buildings in a polluted urban environment, Budapest. **Atmospheric Environment**, 40, 6780-6790.

McAlister, J.J., Smith, B.J., Török Á. 2008. Transition metals and water-soluble ions in deposits on a building and their potential catalysis of stone decay. **Atmospheric Environment**, 42, 7657-7668.

Siegesmund, S., Török Á., Hüpers, A., Müller, C., Klemm, W. 2007. Mineralogical, geochemical and microfabric evidences of gypsum crusts: a case study from Budapest. **Environmental Geology**, 52, 358-397.

Smith, B.J., Török Á., McAlister, J.J. and Megarry, J. 2003. Observations on the factors influencing stability of building stones following contour scaling: a case study of the oolitic limestones from Budapest, Hungary. **Building and Environment**, 38, 1173-1183.

Török Á. 2003a. Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest. **Building and Environment**, 38, 1185-1192.

Török Á. 2005b. Gypsum-induced Decay on the Limestone Buildings in the Urban Environment of Budapest. **International Journal for Restoration of Buildings and Monuments**, 11, 71-78.

Török Á. 2008a. Black crusts on travertine: factors controlling development and stability, **Environmental Geology**, 56, 583-597.

Török Á., Rozgonyi N. 2004. Mineralogy and morphology of salt crusts on porous limestone in urban environment. **Environmental Geology**, 46, 3, 323-339.

Török Á., Licha, T., Simon, K., Siegesmund, S. 2011. Urban and rural limestone weathering; the contribution of dust to black crust formation. **Environmental Earth Sciences**, 63, 675-693.

Magyarországon megjelent angol nyelvű cikk

Török Á. 2007a. Morphology and detachment mechanism of weathering crusts of porous limestone in the urban environment of Budapest. **Central European Geology**, 50, 225-240.

Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent idegen nyelvű lektorált cikk

Török Á. 1997. Deterioration of limestone buildings as a result of air pollution, examples from Budapest. In: Marinos, P.G., Koukis, G., Tsiambaos, G., Stournaras, G. (eds) **Engineering Geology and the Environment, IAEG 1997 Athens**, Balkema (Rotterdam), III., 3269-3273.

- Török Á. 2002b. The influence of wall orientation and lithology on the weathering of ooidal limestone in Budapest, Hungary. In: Prykryl, R., Viles, H. (eds.) ***Understanding and managing stone decay***. Carolinum Press, Prague, 229-240.
- Török Á. 2006b. Hungarian travertine: Weathering forms and durability. In: Fort, R., Alvarez de Buego M., Gomez-Heras M., Vazquez-Calvo C. (eds) ***Heritage Weathering and Conservation***, Taylor & Francis/Balkema, London. Vol. I, 199-204.
- Török Á. 2008b. Schmidt hammer and Duroscope tests in assessing surface properties of stones. In: Tiano P., Pardini, C. (eds.) ***In situ Monitoring of Monumental Surfaces***. Edifir-Edizioni Firenze, Florence, 207-214.
- Török Á., Weiss, T., Hüpers, A., Müller, C., Siegesmund, S. 2004. The decay of oolitic limestones controlled by atmospheric pollution: a case study from the Parliament and Citadella in Budapest, Hungary. In: Kwiatkowski, D., Löfvendal, R. (eds) ***Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone***. ICOMOS Sweden, Stockholm, Vol. II, 947-954.

Magyarországon megjelent magyar nyelvű cikk

- Török Á. 2005a. Travertino a műemlékekben: fácies jellegek, fizikai tulajdonságok és kőzetdiagnosztika. ***Földtani Közlöny***, 135, 571-584.
- Török Á., Hajnal G., Emszt Gy., Árpás E. L. 2005a. A Mátyás-templom kőzetanyagának állapota. ***Építőanyag***. 57, 74-80.

Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent magyar nyelvű lektorált cikk

- Török Á. 2003b. Durva mészkőből épült műemlékek károsodása légszennyezés hatására. In: Török, Á. (szerk.), ***Mérnökgeológiai Jubileumi Konferencia***, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 287-301.

A MŰEMLÉKI KŐANYAGOK VIZSGÁLATÁVAL KAPCSOLATOS TOVÁBBI PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Könyvrész, könyv fejezet

- Siegesmund, S., Török Á.. 2011. Building Stones. In: Siegesmund, S. Snethlage, R. (eds) ***Stone in Architecture***. Springer, Berlin, 11-95.

Szerkesztett könyvben cikk

- Török Á. 2008. Építészeti kőanyagok előfordulása és felhasználása Magyarország területén a XVIII. századig (Occurrence and use of building stones in Hungary until the 18th century). In: Szakáll S. (szerk) ***Ásványok és az ember a mai Magyarország területén a XVIII. század végéig***. Fókuszban az ásványi anyag. Egyetemi Kiadó, Miskolc, 137-155.
- Přikryl R., Török Á. 2010. Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation. In: Přikryl R., Török Á. (eds) ***Natural Stone Resources for Historical Monuments. Geological Society, London, Special Publications*** 333, 1-9.

Külföldön megjelent idegen nyelvű lektorált cikk

- Schneider, C., Ziesch, J., Bauer, J., Török Á., Siegesmund, S. 2008. Bauwerkskartierung zur Analyse des Verwitterungszustands an den Außenmauern des Schlosses von Buda (Budapest, Ungarn). *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 59, 219-235.
- Stück, H., Forgó L.Z., Siegesmund, S., Rüdric, J., Török Á. 2008. The behaviour of consolidated volcanic tuffs: weathering mechanisms under simulated laboratory conditions. *Environmental Geology*, 56, 699-713.
- Szemerey-Kiss B., Török Á. 2011. Time-dependent changes in the strength of repair mortar used in the loss compensation of stone. *Environmental Earth Sciences*, 63, 1613-1621
- Török Á. 2007. Hungarian dimensional stones: an overview. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158, 361-374.
- Török Á., Přikryl, R. 2010. Current methods and future trends in testing, durability analyses and provenance studies of natural stones used in historical monuments. *Engineering Geology*, 115, 139-142.
- Török Á., Vásárhelyi B. 2010. The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary. *Engineering Geology*, 115, 237-245.
- Török Á., Stück, H., Quetscher, A., Glätzner, P., Siegesmund, S. 2007. Comparative study of weathering features of stones in Hungarian castles: morphological characteristics and changes in physical properties. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158, 931-955.

Magyarországon megjelent angol nyelvű cikk

- Pápay Z., Török Á. 2007. Evaluation of the efficiency of consolidants on Hungarian porous limestone by non-destructive test methods. *Central European Geology*, 50, 299-312.
- Török Á. 2003c. Facies analysis and genetic interpretation of travertine. Buda Vár-hegy, Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 46, 177-193.

Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent idegen nyelvű lektorált cikk

- Ahmed, H., Török Á., Lőcsei J. 2006. Performance of some commercial stone consolidating agents on porous limestones from Egypt. In: Fort, R., Alvarez de Buego M., Gomez-Heras M., Vazquez-Calvo C. (eds) *Heritage Weathering and Conservation*, Taylor & Francis/Balkema, London. Vol. II, 735-740.
- Pápay Z., Török Á. 2007. The effect of stone consolidation on the physical properties of porous limestone. A rock mechanical approach. In: L.R. E. Sousa, C. Olalla, N.F. Grossmann (eds.) *11th Congress on the International Society for Rock Mechanics*. Taylor & Francis, London, Vol 1, 465-467.
- Pápay Z., Török Á. 2008. Three consolidants and three porous limestones: testing the effectiveness of consolidants on Hungarian porous limestones from Sós-kút quarry, in terms of physico-mechanical properties. In: Lukaszewicz, J., Niemcewicz, P. (eds.) *Proceedings of the 1st International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Nicolaus Copernicus University Press, Torun, Vol. I, 717-724.
- Török Á. 2002. Accelerated Building Stone Decay in Polluted Urban Environment and the Role of Environmental Factors in Deterioration of Limestone. In: van Rooy J.L. and Jermy, C.A. (eds.) *Engineering Geology for Developing Countries*, 9th IAEG Congress, Durban, Balkema, Rotterdam, 1399-1405.

- Török Á. 2004. Leithakalk-type limestones in Hungary: an overview of lithologies and weathering features. In: Prikryl, R. Siegel, P. (eds) ***Architectural and sculptural stone in cultural landscape***. The Karolinum Press, Prague, 157-172.
- Török Á. 2004. Gypsum-induced decay and weathering crusts on limestone buildings in urban environment of Budapest. In: Aires-Barros, L., Zezza, F. (eds) ***6th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin***. Lectures and Proceedings, Lisbon, Portugal, p. 211-214
- Török Á. 2006. Deterioration-related changes in physical properties and mineralogy of limestone monuments. Engineering geology for tomorrow's cities, ***The 10th IAEG Congress, Nottingham, United Kingdom***, The Geological Society London, paper no. 297. 1-8p
- Török Á. 2007. Characteristics and morphology of weathering crusts on porous limestone, the role of climate and air pollution. In: Sola, P., Estaire, J., Olalla, C. (eds) ***Preservation of Natural Stone and Rock Weathering***, Taylor & Francis, London, 61-66.
- Török Á. 2008. The application of silica acid ester under vacuum conditions for in situ consolidation of porous limestone monument, a case study from Hungary . In: Lukaszewicz, J., Niemcewicz, P. (eds) ***Proceedings of the 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone***. Nicolaus Copernicus University Press, Torun, Vol. II, 1085-1091.
- Török Á. 2009. Deterioration-related changes in physical properties and mineralogy of limestone monuments. In: Culshaw, M.G., Reeves, H.J., Jefferson, I. Spink, T.W. (eds) Engineering Geology for Tomorrow's Cities. ***The Geological Society Engineering Geology Special Publication, 22***, London, paper no. 297. 1-8p
- Török Á., Földes T. 2008. Porous limestone decay: detecting changes by using computer tomography. In: Lukaszewicz, J., Niemcewicz, P. (eds.) ***Proceedings of the 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone***. Nicolaus Copernicus University Press, Torun, Vol. I, 299-307.
- Török Á., Rozgonyi N., Prikryl, R., Prikrylová, J. 2004. Leithakalk: the ornamental and building stone of Central Europe, an overview. In: Prikryl, R. (ed) ***Dimension stone***. Balkema, Rotterdam, 89-93.
- Vásárhelyi B., Török Á. 2004. Influence of the water saturation for the strengths of the Miocene limestone. In: Prikryl, R. (ed) ***Dimension stone***. Balkema, Rotterdam, 107-110.

Magyarországon megjelent magyar nyelvű cikkek

- Barsi I., Török Á. 2006. A Monostori erőd falazatát alkotó kőzetek vizsgálata. ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*** 8., 4, 14-18.
- Bögöly Gy., Görög P., Török Á. 2011. Boltozott kőhidak diagnosztikai módszerei. ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő***, 13, 1, 32-36.
- Farkas O., Török Á. 2009. Magyar Király Szálló, A székesfehérvári szálló története és kőzetdiagnosztikai vizsgálata. ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*** 11., 4, 38-42.
- Farkas O., Török Á. 2011. A természetes kő szerepe Pollack Mihály építészetében. ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő***, 13, 2, 40-43.
- Forgó L.Z., Török Á. 2003. A jordániai Petra műemlékei és kőzetanyaga, ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő***, 5., 3., 10-15.
- Hegyí P., Vita N., Török Á. 2009. A Budapest belvárosi Nagyboldogasszony templom kőanyagának roncsolásmentes vizsgálata. ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*** 11., 1, 29-35.
- Hencsei J., Török Á. 2007. A Szent István Bazilika felújítása és kőanyagának vizsgálata. ***Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*** 9., 4, 34-38.

- Kárpátiné Pápay Z., Török Á. 2010. Kőszilárdítás. Három Különböző alapanyagú kezelőszer szilárdító hatása három eltérő szövetű durva mészkőre. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő* 12, 4, 32-35.
- Kelemen S., Török Á. 2002. A Kolozsvár környéki durva mészkő építészeti felhasználása. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*, 4., 2, 10-13.
- Krupa Á., Laczák L., Török Á. 2010. Külső térburkoló kőlapok felületi és csúszásvizsgálata. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő* 12., 1, 22-28.
- Pápay Z., Török Á. 2006. Kovasavészter kőszilárdítók hatása durva mészkőre. *Építőanyag*, 58, 102-106.
- Stöckert F., Török Á., Görög P. 2008. Nógrád-megyei közúti hidak kőzetdiagnosztikája. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő* 10., 1, 21-25.
- Szemerey-Kiss B., Török Á. 2010. Kőkiegészítők kompatibilitási vizsgálata. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*, 12, 3, 27-30.
- Török Á. 2004. Műemlékek kőzeteinek anyagvizsgálata. *Anyagvizsgálók lapja*, 14.1, 3-4.
- Török Á. 2004. Műemléki kőzetek állapotromlásának külső jegyei – 1. rész. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*, 6, 4, 27-29.
- Török Á. 2005. Műemléki kőzetek állapotromlásának külső jegyei – 2. rész. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő*, 7, 1, 30-32.
- Török Á. 2006. A geológia szerepe a mérnöki gyakorlatban, amit a hibákból tanulhatunk. *Mérnökújság*, XIII, 12, 23-25.
- Török Á. 2006. A mészkő szerepe az egyiptomi kultúrában. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő* 8., 2, 38-42.
- Török Á. 2006. Vulkáni tufák a műemlékekben. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő* 8., 1, 18-21
- Török Á. 2008. A Gellért szálló szobrainak és címerének kőanyaga. *Díszítő-Építő-Mű-Terméskő* 10., 3, 18-21.
- Török Á. 2008. 5500 év története kövekben elmesélve, Amiről a műemléki kőanyagok árulkodnak. *Természet Világa*, 2008\II. különszáma, 27-31.

Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent magyar nyelvű lektorált cikk

- Farkas O., Török Á. 2010. A székesfehérvári Magyar Király Szálló kőzetdiagnosztikai vizsgálata a légszennyezés függvényében. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2010*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 47-54.
- Kárpátiné Pápay Z., Török Á. 2007. Összefüggés a sóskúti durva mészkő tömeg-összetételi és szilárdsági tulajdonsága között. *XI. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia*, Csíksomlyó, 91-94.
- Pápay Z., Török Á. 2006. Durva mészkövek vízfelvételi tulajdonságai. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 197-208.
- Pápay Z., Török Á. 2006. Durva mészkövek időállóságának és szövetszerkezetének a kapcsolata. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 185-196.
- Polányi S., Török Á. 2008. Durva mészkövek hőtágulása, vízfelvétele és ultrahang terjedési sebessége laboratóriumi körülmények között. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 195-202.
- Szemerey-Kiss B., Török Á. 2008. Műemléki plasztikus kőkiegészítő anyagok jellemzői és felhasználhatósága. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 203-214.
- Szemerey-Kiss B., Török Á. 2010. Műemléki kőkiegészítő anyagok mechanikai viselkedésének változása a felhasználás körülményeinek függvényében. In: Török Á. Vásárhelyi B.

(szerk.) ***Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2010***, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 71-78.

Theodoridou, M., Török Á. 2008. Conservation Science and the role of Engineering Geology in studying material properties; a case study of the Székesfehérvár Ruin Garden. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) ***Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2008***, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 225-236.

Török Á., Siegesmund, S., Müller, C., Hüpers, A., Weiss, T. 2006. Az Országház homlokzatát és a Citadellát alkotó durva mészkövek szövetének hatása időállóságukra. In: Török Á. Vásárhelyi B. (szerk.) ***Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006***, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 235-244.